

PAT-NO: JP363158477A  
DOCUMENT- JP 63158477 A  
IDENTIFIER:  
TITLE: MEASURING ELEMENT FOR THREE-DIMENSIONAL MAGNETIC  
FIELD VECTOR

PUBN-DATE: July 1, 1988

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MAKI, KOICHIRO	
ISHII, JUNICHI	

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SUMITOMO METAL MINING CO LTD	N/A

APPL-NO: JP61307345  
APPL-DATE: December 23, 1986

INT-CL (IPC): G01R033/06

US-CL-CURRENT: 324/251

ABSTRACT:

PURPOSE: To simultaneously measure the three-dimensional magnetic field components at the same point, by a method wherein three pairs of opposed Hall elements are arranged so that the surfaces thereof coincide with the surfaces of a hexahedron and the average value of the measured values by each pair of the Hall elements is calculated.

CONSTITUTION: Three pairs of square Hall elements 1, 4; 2, 5; 3, 6 are adhered to the surfaces of an element support 7 being a hexahedron wherein the length of one side is 1mm and, further, the end surface of a support rod 8 is adhered to one Hall element 4 among them. As mentioned above, three pairs of the opposed Hall elements 1□6 are arranged so that the surfaces thereof coincide with the

surfaces of the hexahedron and the average value of the measured values by each pair of the Hall elements is calculated to make it possible to simultaneously measure the three-dimensional magnetic field components at the same point. Further, by constituting this measuring element of the same kind of the elements utilizing no induced electromotive force represented by the Hall elements, an error due to the combination is not generated.

COPYRIGHT: (C)1988,JPO&Japio

⑤ Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和63年(1988)7月1日

G 01 R 33/06

H-6860-2G

審査請求 未請求 発明の数 1 (全5頁)

⑭ 発明の名称 三次元磁界ベクトル測定素子

⑯ 特 願 昭61-307345

⑰ 出 願 昭61(1986)12月23日

⑱ 発 明 者 横 孝 一 郎 千葉県市川市中国分3-18-5 住友金属鉱山株式会社中央研究所内

⑲ 発 明 者 石 井 純 一 千葉県市川市中国分3-18-5 住友金属鉱山株式会社中央研究所内

⑳ 出 願 人 住友金属鉱山株式会社 東京都港区新橋5丁目11番3号

㉑ 代 理 人 弁理士 篠原 泰司

## 明 細 書

## 1. 発 明 の 名 称

三次元磁界ベクトル測定素子

## 2. 特 許 請 求 の 範 囲

三対の対面するホール素子をその各面が六面体の各面と一致するようにして配置されてなる三次元磁界ベクトル測定素子。

## 3. 発 明 の 詳 細 な 説 明

(産業上の利用分野)

本発明は、三次元磁界ベクトル測定素子に関する。

(従来の技術)

磁界測定素子には、フラックスゲート(磁界変化の度合に応じて誘導起電力が生じる)、磁気抵抗素子(磁界に応じて抵抗が変化する)、ホール素子(磁界に応じて電圧が生じる)の三種類があり、このうち磁界ベクトルの測定にはリング型構造のフラックスゲートが一般的に使用されているが、これでも二次元の磁界ベクトルまでしか測定できないため、三次元の磁界ベクトルの測定には

これらの各素子をいろいろ組み合わせて用いることがなされていた。例えば、三次元空間の必ずしも互いに直角をなさない独立な方向をx方向、y方向、z方向とし、(1)まず空間の一点でx方向の磁界成分を一次元測定素子で測定し、次いでy方向の磁界成分を測定し、さらにz方向の磁界成分を測定して、それらの結果を合成する方法と(2)まずx方向とy方向がつくる二次元平面内においてx及びy方向の磁界成分を二次元測定素子で測定し、次いでz方向の磁界成分を一次元測定素子で測定して、それらの結果を合成する方法とがあり、これらによって三次元の磁界ベクトルの大きさと方向を求めている。

(発明が解決しようとする問題点)

ところが、前者の方法では、空間の一点において三個の一次元測定素子による同時測定は原理的には不可能であり、三次元の測定には各素子の入れ換え或は方向を換えるという操作が必要であるため、一次元の測定の三倍の時間を要していた。又、後者の方法では、x及びy方向の二次元の測

定にフラックスゲート等の誘導起電力を利用する素子を用いると、初期値の設定のためには磁場の空間変化及び時間変化による起電力を要。不要を問わず絶えず測定しなければならず、更に上記二次元測定点の近傍で $z$ 方向の一次元の測定をホール素子等のバイアス電流の必要なもので行くと、このホール素子の発する微小磁界の変化も推算されて誤差が生じてしまうことがあった。

従って、いずれの方法の場合も、同一地点における三次元の磁界成分の同時測定が不可能であり、そのため測定に時間を要し且つ測定時間差による誤差が生じてしまうと共に、特に後者の方法の場合は測定素子の組み合わせによる誤差が生じてしまい、その結果実用上測定が困難であるという問題があった。

本発明は、上記問題点に鑑み、測定が容易であり且つ精度も高い三次元磁界ベクトル測定素子を提供することを目的とする。

(問題点を解決するための手段及び作用)

本発明による三次元磁界ベクトル測定素子は、

$H_x \left( x - \frac{a}{2} \right)$  にそれぞれ一致する。

この測定値の平均値  $\langle H_x \rangle$  は、

$$\langle H_x(x) \rangle = \frac{1}{2} \left\{ H_x \left( x + \frac{a}{2} \right) + H_x \left( x - \frac{a}{2} \right) \right\} \quad \dots (1)$$

となり、 $a$  が小さいとして展開し、4次以上の高次の項を無視すれば、

$$\langle H_x(x) \rangle = H_x(x) + \left( \frac{\partial^2 H_x}{\partial x^2} \right) \frac{a^2}{8} \quad \dots (2)$$

となる。このことにより、平均値  $\langle H_x \rangle$  は中心 $x$ での値と誤差  $\left( \frac{\partial^2 H_x}{\partial x^2} \right) \frac{a^2}{8}$  をもって一致し、該誤差は $a$ を小さくすることにより測定誤差にまで小さくすることができ、実際に中心位置 $x$ にホール素子が存在しなくても測定が可能となる。

次に本発明による素子がもつ誤差とホール素子の誤差との関係について説明する。

ホール素子の大きさ $l$ が立方体の大きさ $a$ （一辺の長さ）より小さいが決して無視できない場合、

三対の対面するホール素子をその各面が六面体の各面と一致するようにして配置し、各対において二つのホール素子による測定値の平均値を求めるようにすることにより、同一地点における三次元の磁界成分の同時測定を可能にすると共に、ホール素子という誘導起電力を利用しない同一種の素子から構成されることにより組み合わせによる誤差が生じないようにしたものである。

以下、上記六面体が立方体であるとして本発明を説明する。

立方体の平行な二つの面に配置された二つのホール素子を一対として、その面の三組の法線方向を $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向、二つの面の間隔を $a$ 、立方体の中心を $x$ 、そして一つのホール素子を大きさ $l$ （一辺の長さ）の正方形とする。説明を容易にするために $x$ 方向についてのみ述べる。ホール素子の大きさ $l$ が十分に小さく、ホール素子そのものの誤差がないものとすれば、各ホール素子の位置での測定値は真の磁界  $H_x \left( x + \frac{a}{2} \right)$ 、

一つのホール素子での測定値は  $H_{xx} \left( x + \frac{a}{2} \right)$ 、

はホール素子を垂直に貫く磁界成分のホール素子の面積における平均値であるから、次のようになる。

$$\begin{aligned} H_{xx} \left( x + \frac{a}{2} \right) &= \frac{1}{l^2} \int_{-l/2}^{l/2} \int_{-l/2}^{l/2} dz dy H_x \left( x + \frac{a}{2}, y, z \right) \\ &= H_x \left( x + \frac{a}{2} \right) + \frac{1}{3} \left( \frac{\partial^2 H_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H_x}{\partial z^2} \right) \frac{l^2}{8} \end{aligned}$$

又、空気中のある領域においては、 $\text{rot } \vec{H} = 0$ 、 $\text{div } \vec{H} = 0$  が成り立つから、 $\text{rot rot } \vec{H} = \text{grad div } \vec{H} - \nabla^2 \vec{H}$  により

$$H_{xx} \left( x + \frac{a}{2} \right) = H_x \left( x + \frac{a}{2} \right) - \Delta H_x \quad \dots (3)$$

となる。ここで、 $\Delta H_x = \frac{1}{3} \left( \frac{\partial^2 H_x}{\partial x^2} \right) \frac{l^2}{8}$  であり、ホール素子のもつ誤差である。従って、本発明の測定の原理式(1)に式(3)のホール素子の測定

値を用いれば、

$$(H_{xx}(x)) = \frac{1}{2} \left\{ H_{xx} \left( x + \frac{a}{2} \right) + H_{xx} \left( x - \frac{a}{2} \right) \right\} \\ = H_{xx}(x) + \Delta H$$

$$\text{ただし、} \Delta H = \frac{1}{8} \left( \frac{\partial^2 H_{xx}}{\partial x^2} \right) \left( a^2 - \frac{1}{3} l^2 \right)$$

である。ここで、立方体の大きさ  $a$  が最小値即ち素子の大きさ  $l$  と等しいとすると、ホール素子そのものの誤差  $\Delta H_1$  と本発明による誤差  $\Delta H$  とは、

$$\Delta H \approx 2 \Delta H_1$$

と2倍程度になることがわかる。実用的には、二つの面の間隔  $a$  をもつ測定素子の誤差は、空間分解能という観点から眺めれば理解しやすい。即ち、よく知られているように一辺の長さが  $l$  の正方形のホール素子を用いる測定では  $l$  より小さい範囲で変動する磁極等を測定することはできない。このことと同じように、本発明の測定素子では、一辺の長さが  $a$  の立方体であるため、各方向についても  $a$  より小さい範囲で変動する磁界を測定することはできない。

を採用する。

ただし、

$$|\vec{H}| = \frac{1}{2} \left\{ \left[ H_{xx} \left( x + \frac{a}{2} \right) + H_{xx} \left( x - \frac{a}{2} \right) \right]^2 \right. \\ + \left[ H_{yy} \left( y + \frac{a}{2} \right) + H_{yy} \left( y - \frac{a}{2} \right) \right]^2 \\ \left. + \left[ H_{zz} \left( z + \frac{a}{2} \right) + H_{zz} \left( z - \frac{a}{2} \right) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

である。

(実施例)

以下、図示した一実施例に基づき本発明を詳細に説明する。

第1図は本発明による三次元磁界ベクトル測定素子の分解斜視図であって、これは一辺の長さが  $1 \text{ mm}$  の六面体である素子支持体7の各面に三対の正方形のホール素子1, 4; 2, 5; 3, 6を貼り合わせ、更にそのうちの一個のホール素子4に支持棒8の端面を貼り合わせたものである。素子支持体7の形状は立方体に近いが、必ずしも各面が  $90^\circ$  をなすとは限らないので、支持棒8の

ところで、立方体面上に組み上げた三次元素子の誤差として、以上述べた考え方をより詳しく、各ホール素子の測定誤差は測定誤差として現われるから、測定誤差がいかに少ないかという考え方をするのがより実用的である。誤差の割合を見るには、ガウスの定理  $\int \vec{H} \cdot d\vec{s} = 0$  からのずれを用いるのが便利である。従って、本発明の実用的な誤差の値として、ガウスの定理に各面の磁界を一定とした条件を加えて得られる

$$\Delta H_x = H_{xx} \left( x + \frac{a}{2} \right) + H_{xx} \left( x - \frac{a}{2} \right) \\ + H_{xx} \left( z + \frac{a}{2} \right) - H_{xx} \left( z - \frac{a}{2} \right) \\ - H_{yy} \left( y - \frac{a}{2} \right) - H_{yy} \left( z - \frac{a}{2} \right) \dots (4)$$

を採用する。これは、誤差がどれ程生じているかを各測定点で知ることができるものである。また、誤差の割合 ( $\delta$ ) としては、

$$\delta = \frac{\Delta H_x}{|\vec{H}|} \dots (5)$$

軸方向を  $z$  方向とし、一定の磁界  $H_0$  の中で二つのホール素子2, 5によって得られた磁界の値  $H_2$  と  $H_5$  が等しくなる方向を  $x$  方向とし、更に決定された  $x$  方向、 $z$  方向とに垂直な方向から同一磁界  $H_0$  を与えてホール素子3, 6から磁界の値  $H_3$  及び  $H_6$  を得、更に  $z$  方向にも一定磁界  $H_0$  を与えた時にホール素子4, 1により測定された磁界の値を  $H_4$ ,  $H_1$  とした。又、校正定数  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ ,  $C_5$ ,  $C_6$  を

$$C_2 = C_5 = \frac{H_2}{H_0} = \frac{H_5}{H_0}$$

$$C_3 = \frac{H_3}{H_0}, \quad C_6 = \frac{H_6}{H_0}$$

$$C_4 = \frac{H_4}{H_0}, \quad C_1 = \frac{H_1}{H_0}$$

として求め、測定に際し、直角座標系 ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) における磁界の各成分  $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$  は、各ホール素子1, 2, 3, 4, 5, 6の出力値  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ ,  $H_4$ ,  $H_5$ ,  $H_6$  から

$$H_x = \frac{1}{2} (H_{1x} + H_{2x}) / C_x$$

$$H_y = \frac{1}{2} (H_{1y} / C_x + H_{2y} / C_x)$$

$$H_z = \frac{1}{2} (H_{1z} / C_x + H_{2z} / C_x)$$

とすることによって得られた。校正係数  $C_x \sim C_z$  の値は、素子支持体 7 の立方体としての精度と個々の素子の出力精度とに依存する量であるが、通常の工作精度の立方体としての素子支持体と精度の調整された素子を使用する限り、極めて 1 に近い値である。

次に、この三次元磁界ベクトル測定素子を用いて第 2 図に示した円筒形磁石 9 の上面から約 5 mm 上方の平面上の磁界の各成分を測定した。三次元磁界ベクトル測定素子を構成するホール素子が一边の長さが 1 mm の正方形のものであったため、該測定素子の空間分解能は 1 mm となる。測定結果によれば、測定中の誤差は、は全て所望の誤差 1 % に入るものであった。測定結果を三次元グラフ

ィック化して、磁界の各成分  $H_x$ 、及び  $H_y$ 、を夫々第 3 図及び第 4 図に示す。尚、成分  $H_z$  の表示は省略した。

かくして、本発明による測定素子は、三対の対面するホール素子をその各面が六面体の各面と一致するように配置し、各対のホール素子による測定値の平均値を求めるようにしているので、同一地点における三次元の磁界成分の同時測定が可能である。従って、測定に時間を要せず且つ測定時間差による誤差発生心配もないので、測定が容易であり且つ精度も高い。又、ホール素子という誘導起電力を利用しない同一種の素子から構成されているので、測定素子の組み合わせによる誤差発生の心配がない。従って、測定精度が一層向上する。

(発明の効果)

上述の如く、本発明による三次元磁界ベクトル測定素子によれば、測定が容易であり、且つ精度も高いという実用上重要な利点を有している。特に、同一地点における三次元の磁界成分の同時測

定が可能であることから、今後増々必要性が増す磁石製品の表面磁束密度の解析及び評価、多極異形磁石製造用の磁場中射出成形用金型での磁界分布（磁気粒子配向性）の解析及び磁気回路における漏洩磁界の検査等に非常に有効である。

#### 4. 図面の簡単な説明

第 1 図は本発明による三次元磁界ベクトル測定素子の一実施例の分解斜視図、第 2 図は測定対象である円筒形磁石の斜視図、第 3 図及び第 4 図は夫々第 2 図における磁界の各成分  $H_x$ 、及び  $H_y$  の測定結果を三次元グラフィック化して示す図である。

1、2、3、4、5、6……ホール素子、7……素子支持体、8……支持棒、9……円筒形磁石。

図 1

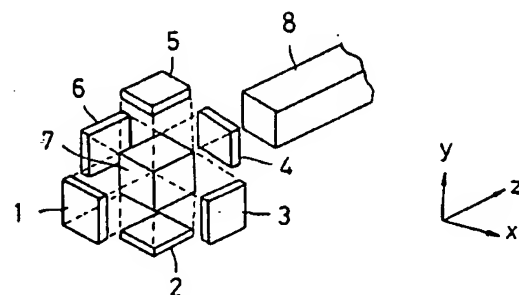
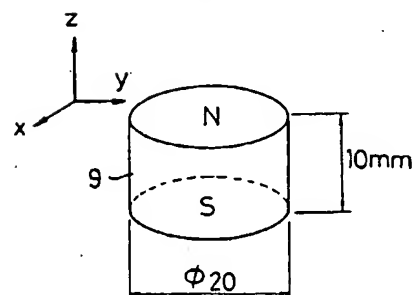


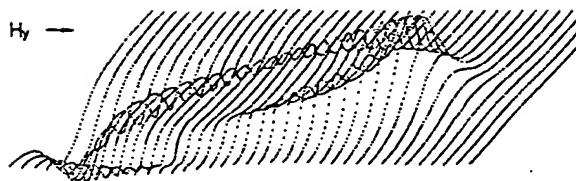
図 2



代理人 藤原泰司



才 3 図



才 4 図

